



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

HISTORIE VÝROBY OCELI

HISTORY OF STEELMAKING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV KOSMÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV ŠENBERGER, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jaroslav Kosmák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Historie výroby oceli

v anglickém jazyce:

History of steelmaking

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Suroviny pro výrobu železa, základní principy železářských technologií, využívání redukčních pochodů k výrobě železa ve starověku, vývoj středověkých železářských technologií, podstata a principy moderních postupů výroby oceli.

Cíle bakalářské práce:

Na základě studia literatury popsat principy výroby oceli a jejich využívání v různých dobách lidských dějin od starověku až po moderní ocelářské technologie.

Seznam odborné literatury:

1. STRÁNSKÝ, K., aj. Železné hamry a hutě - Českomoravské a Drahanské vysočiny. II. část. 1. vyd. Brno: VUT v Brně, 2008. 107 s. ISBN 978-80-214-3854-5.
2. SOUCHUPOVÁ, V. a STRÁNSKÝ, K. Tajemství dávného železa. 1. vyd. Brno: Technické muzeum v Brně, 2008. 159 s. ISBN 978-80-86413-54-9.
3. ŠENBERGER, J., aj. Metalurgie oceli na odlitky. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2008. 310 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
4. TURGDOGAN, ET. Fundamentals of steelmaking. 1st. ed. London: The Institute of materials, 1996. 331 p. ISBN 1861250045.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá historií výroby oceli jako materiálu používanému k výrobě chladných zbraní. V úvodu popisuje stručnou historii výroby oceli. Následující část pojednává o technologii výroby surového železa a oceli a surovinách pro jejich výrobu. V další kapitole je uveden historický přehled vývoje meče, který byl přední reprezentant chladných zbraní a použitých materiálů a technologií pro jeho výrobu. Poslední část této bakalářské práce pojednává o Damascenské oceli jako specifickém materiálu pro výrobu chladných zbraní.

Klíčová slova

Historie oceli, železo, ocel, chladné zbraně, Damascenská ocel.

ABSTRACT

This thesis deals with the history of steel as a material used to produce cold weapons. The introduction describes the brief history of steel production since the beginning of the iron to the present. The second part focuses on the technology of production of raw iron and steel and raw materials for their production. The next chapter gives a historical survey of the sword, which was a leading representative of cold weapons and the materials and technologies for its production. The last part of this thesis deals with a Damascus steel as a specific material used for cold weapons.

Key words

History of steel, iron, steel, cold weapons, Damascus steel.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOSMÁK, J. *Historie výroby oceli*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 40 s., 5 příloh. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma HISTORIE VÝROBY OCELI vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 22. 5. 2011

.....
Jaroslav Kosmák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jaroslavu Šenbergerovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení	4
Poděkování.....	5
Obsah.....	6
Úvod.....	7
Cíl práce	8
1 Historie výroby oceli	9
2 Výroba železa a oceli	11
2.1 Princip výroby železa.....	11
2.1.1 Přímá výroba železa	11
2.1.2 Nepřímá výroba železa.....	11
2.2 Suroviny pro výrobu železa	14
2.2.1 Kovonosné suroviny	14
2.2.2 Palivo pro vysokou pec	15
2.2.3 Struskotvorné přísady	16
2.3 Výroba oceli.....	17
2.3.1 Konstrukce a princip kyslíkového konvertoru	18
2.3.2 Konstrukce a princip elektrické obloukové pece	18
2.4 Legující prvky.....	19
3 Výroba chladných zbraní	21
3.1 Historický přehled chladných zbraní	21
3.2 Materiál pro výrobu chladných zbraní.....	24
3.2.1 V současnosti používané materiály pro výroby chladných zbraní.....	27
3.3 Technologie výroby chladných zbraní.....	28
3.3.1 Historické technologie výroby chladných zbraní.....	28
3.3.2 Technologie výroby replik chladných zbraní.....	30
4 Damascenská ocel	31
4.1 Historie damascenské oceli.....	31
4.2 Druhy damascenské oceli	31
4.3 Principy výroby damascenské oceli.....	32
4.3.1 Litá damascenská ocel – Wootz, Bulat	32
4.3.2 Svářková damascenská ocel.....	33
4.4 Průmyslová výroba damascenské oceli v současnosti	34
5 Závěr.....	36
Seznam použitých zdrojů	37
Seznam příloh.....	39

ÚVOD

Historie oceli jako materiálu pro výrobu rozličných výrobků je velmi stará a sahá až do doby před naším letopočtem. Už samotný fakt, že se lidé naučili zpracovávat materiály, jakými jsou železné rudy je fascinující.

Dnes je ocel jedním z nejpoužívanějších materiálů a nachází uplatnění v mnoha výrobních odvětvích. Tato skutečnost je dána velkým množstvím druhů oceli s různými vlastnostmi a možnostmi zpracování. V tomto ohledu to má dnešní člověk mnohem jednodušší. Jsou známy výrobní technologie, které umožňují vyrobit oceli v požadované kvalitě, složení a množství.

V počátcích zpracování železných rud se lidé museli spokojit, na dnešní poměry, s primitivními podmínkami. Přesto je možno konstatovat, že technologii hutnictví zvládli a archeologické nálezy to jen potvrzují.

Mezi výrobky, které byly vyráběny hned zpočátku doby železné, patřily chladné zbraně. Vždyť lov a boj byly jedněmi ze základních nutností pro přežití. Proto vedle různých nástrojů se někteří zpracovatelé železa zaměřili na výrobu zbraní. Dá se předpokládat, že právě výrobou zbraní se zabývali ti nejzkušenější řemeslníci a materiály pro jejich výrobu patřily ve své době k těm nejkvalitnějším.

Je proto velmi zajímavé sledovat postupný vývoj zpracování železa a v kontextu s tím i změny ve výrobě chladných zbraní.

Po dohodě s vedoucím práce jsem si z tématu „Historie výroby oceli“ vybral užší téma a to výrobu damascenské oceli. Bakalářská práce se zabývá historickým vývojem výroby železa a oceli a fyzikálně chemickými pochody používanými při výrobě. Na základě uvedeného rozboru je pojednáno o historickém vývoji a principech výroby damascenské oceli.



Obr. 0.1 – Výroba materiálu a výsledné produkty [1], [2], [3]

CÍL PRÁCE

Na základě historického rozboru vývoje železa a oceli a rozboru používaných fyzikálně chemických pochodů pojednat o vývoji a principech výroby damascenské oceli jako materiálu používaného při výrobě chladných zbraní.

Železem se myslí historicky používaný výraz pro ocel s velmi nízkým obsahem uhlíku.

1 HISTORIE VÝROBY OCELI [4], [5], [6]

V minulosti měly pojmy „železo“ a „ocel“ jiný význam, než jaký těmto slovům je přikládán v současnosti. Z dnešního pohledu je železo chemickým prvkem a ocel je slitina železa, uhlíku a dalších prvků. Z pohledu historického byly rozeznávány dva druhy železného materiálu. Železem byl nazýván materiál „měkký“ dále nekalitelný a ocelí materiál „tvrdý“ dále kalitelný.

Na základě nálezů je doloženo, že člověk se setkal s kovovým železem před rokem 3000 př. n. l. V té době se jednalo o meteoritické železo, u něhož je charakteristický vyšší obsah niklu. Meteoritické železo je jako výchozí materiál vzácné a tak bylo započato s výrobou železa z rud. První zmínky o takto zpracovaném železe pochází z doby 2000 let př. n. l. kdy tuto technologii začali rozvíjet Chetitě. Bylo to na území dnešního Turecka, Sýrie a Libanonu. Až postupem času se výroba železa z rud začala přesouvat i do Evropy.

Nástup výroby železa v Evropě nastal v 8. století př. n. l. v tzv. době halštatské a laténské. Největší podíl na rozvoji železářství měla keltská expanze a to i do našich zemí. Postupně docházelo k rozvoji specializovaných řemesel zpracovávající vyrobené železo. Přesto, že Keltové i nadále pokračovali ve zpracování bronzů, železo postupně tento materiál díky svým vlastnostem nahradilo hlavně ve výrobě zbraní.

V období nazývaném doba železná se jednalo o výrobu železa tzv. přímou redukcí rud. Železná rudy se zpracovávala v pecích různých typů. Jednalo se buď o pece se zahloubenou nístějí, nadzemní jílové pece, nebo vtesané pece. Přívod vzduch byl realizován přirozeně, nebo pomocí měchů. Palivem bylo dřevěné uhlí, které se vyrábělo pálením v milířích.

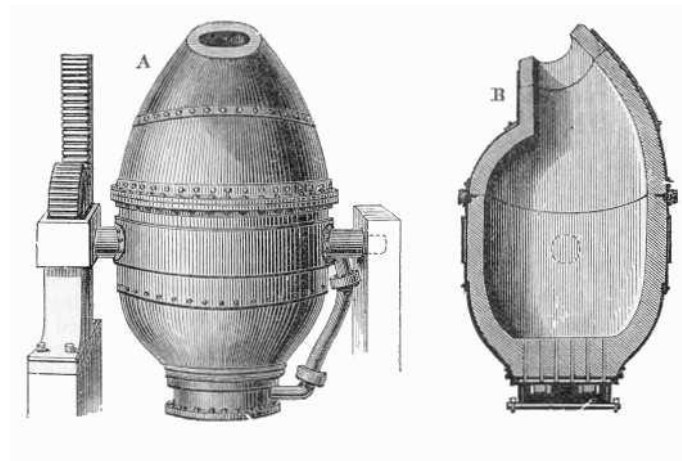
V těchto pecích se dosahovalo teplot maximálně 1300–1350 °C což nestačilo k roztavení. Po několika hodinách (8 až 12 hod.) byla vyjmuta železná houba. Jednalo se o pórovitou hroudu s malým obsahem uhlíku. Takto získaný materiál se musel dále zpracovat, aby bylo dosaženo potřebných vlastností. Další zpracování mělo za úkol ohřevem a prokováním homogenizovat materiál a zbavit ho zbytků strusky a provádělo se kladivem, v pozdějších dobách kdy byl požadavek na zpracování většího množství materiálu pomocí vodních hamrů.

Od nástupu doby železné až do 16. století se výroba železa principiálně nezměnila. Zvýšení produkce se dosahovalo zvětšením pecí a dmýcháním vzduchu. Zvyšující se poptávka vedla ke stavbě prvních vysokých pecí, které byly vytápěny dřevěným uhlím, a bylo dosahováno vyšších teplot. Produktem těchto pecí bylo surové železo zkujňované ve frýšovacích pecích s přídavkem okují a železných rud.

V roce 1784 byla zavedena nová technologie zkujňování surového železa. Jednalo se o pudlování patentované Henry Cortem. Pudlovací pec byla vytápěna černým uhlím, kdy nístěj pece byla oddělena od topeniště. Železo tak přicházelo do styku pouze se spaliny a nedocházelo tak k sycení sírou z uhlí. Pro zlepšení oxidačního účinku byl zvýšen přívod vzduchu a tavenina byla promíchávána železným hablem. Při oxidaci uhlíku se zvyšovala teplota tavení a produktem pudlování byly tuhé kusy nazývané vlky, nebo dejly. Kováním na hamrech byla provedena homogenizace a odstranění strusky.

Další významnou změnou bylo v 19. století použití jako paliva ve vysokých pecích koksu. Koksové vysoké pece mají vysokou produktivitu a jejich uvedení do provozu vyžadovalo nalezení nových zkujňovacích procesů.

Zásadní změna ve výrobě oceli nastala v roce 1855, kdy Henry Bessemer nechává patentovat vynález konvertoru. Způsoby výroby spočívá ve dmýchání vzduchu do roztaveného železa ve sklopné nádobě. Bessemerovy konvertory pracovaly s kyselou vyzdívkou a nebylo tak možné odstranit z železa fosfor a síru a nebylo možné v nich zpracovat rudy bohaté na fosfor.



Obr. 1.1 – Bessemerův konvertor [7]

Problém kyselé vyzdívky odstranil v roce 1878 Sidney Gilchrist Thomas patentováním zásadité vyzdívky pro konvertory. Zkujňování probíhalo pod zásaditou struskou na bázi oxidu vápenatého.

S nástupem Siemens-Martinské pece v roce 1864 bylo možno zpracovat neomezené množství ocelového odpadu. Jedná se o pec s uzavřenou nístějí. Díky předehřevu topného plynu a vzduchu v regeneračních komorách bylo možno dosáhnout vyšších teplot plamene. Siemens-Martinské pece spolu s konvertory dmýchanými vzduchem byly hojně používány ještě počátkem 2. poloviny 20. století.

V roce 1902 byla do provozu uvedena elektrická oblouková pec, u které probíhá zahřívání elektrickým obloukem mezi elektrodami a materiálem a elektrická indukční pec pracující na principu elektromagnetické indukce. Elektrické pece nahradily výrobu ušlechtilých ocelí v kelímkách.

Rok 1952 byl rokem zahájení výroby oceli v kyslíkovém konvertoru, kde je kyslík dmýchán do tekutého surového železa horem. Jedná se o tzv. LD (Linz-Donawitz) pochod.

Počátkem 60. let 20. století, díky zavedení výroby ocelí kyslíkovými pochody, jsou některé metalurgické pochody přesunuty z pece do pánve – počátek mimopecní (sekundární) metalurgie.

2 VÝROBA ŽELEZA A OCELI

2.1 Princip výroby železa [8]

Výrobu železa lze rozdělit na dva způsoby. Jedním je výroba přímou metodou kdy se pomocí jednoho technologického procesu získá kujné železo (ocel) z rudy. Při nepřímé výrobě se v prvním technologickém procesu vyrobí surové železo, které se následně zkujňuje v dalším procesu na ocel.

2.1.1 Přímá výroba železa [5]

Na přímou výrobu železa se používají kvalitnější rudy s vysokým obsahem železa a malým množstvím nežádoucích příměsí. Při přímé výrobě železa se používají jiná paliva než koks a jedná se tak o bezkoksovou výrobu železa. Jako paliva je možno použít lignit, hnědé uhlí, dehty, těžké topné oleje a zemní plyn. Tento způsob výroby železa je velmi podobný pochodům používaných v historii, kdy se železné rudy tavily dřevěným uhlím, produktem byla železná houba.

2.1.2 Nepřímá výroba železa [5], [9]

Pomocí nepřímé výroby železa se dnes vyrábí převážná část současné produkce surového železa. Lze zpracovat i rudy s nižším obsahem železa.

Nepřímá výroba železa probíhá ve vysokých pecích. Jedná se o kuželovité šachtové pece vysoké 25–40 m. Rozměry a tvar vysoké pece jsou uzpůsobeny technologii provozu a měnícímu se objemu vsázky.

Hlavní části vysoké pece: [7], [9]

- sazebná (kychta): horní část pece sloužící k zavážení vsázky a odvodu plynů z pece,
- šachta: část pece pod sazebnou, směrem dolů se rozšiřuje,
- rozpor: nejširší část vysoké pece,
- sedlo: kuželovitě se zužující část pod rozporem, do horní části sedla jsou zavedeny výfučny, kterými se do pece přivádí horký vzduch (vitr) o teplotě 600 až 1000 °C,
- nístěj: dolní válcová část vysoké pece, v horní části nístěje se spaluje koks a v dolní se hromadí tavenina (surové železo) a struska.

Vysokou pec tvoří ocelový nosný plášť, který je z vnější strany chlazen vodou a z vnitřní je vyzděný žáruvzdornou vyzdívkou ze šamotových a grafitových cihel. Sázecí ústrojí vysoké pece umožňuje kontinuální zavážku surovin. Pec je provozována nepřetržitě až několik let. Výkon pece je dán velikostí a může dosáhnout až 2000 t surového železa za 24 hodin.

Do technologického celku vysoké pece dále patří: [9]

- dmychadla a ohříváče větru,
- doprava surového železa a strusky,
- čištění vysokopecního plynu.

K vyrobení 1 t surového železa je potřeba 1,7 až 2,2 t železné rudy (závisí na obsahu Fe), 0,8 až 1,0 t metalurgického koksu a 0,1 až 0,4 t struskotvorných přísad.

Během tavby probíhá ve vysoké peci několik chemických a fyzikálních pochodů. Vsázka postupně postupuje šachtou pece a dochází v ní k níže uvedeným reakcím:

- a) vysoušení vlhkosti a rozklad hydrátů: proces probíhá v rozmezí teplot od 100 do 500 °C.
- b) kalcinace (rozklad uhličitánů): tento proces probíhá v rozmezí teplot od 400 do 1000 °C a dochází při něm k rozkladu vápence a dolomitu:



- c) redukce oxidů železa: redukce probíhá postupně dle schématu:



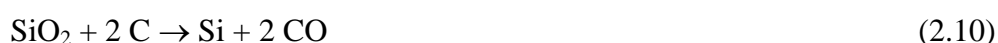
Redukce probíhá ve dvou stupních. Do 900 °C probíhá redukce nepřímá což je redukce oxidem uhelnatým:



Ve spodní části kde je vyšší teplota probíhá redukce přímá tj. slučování s uhlíkem z koksu:



- d) redukce ostatních prvků: stejně jako železo se redukují i další prvky, které ruda obsahuje. Jde ve většině případu o přímou redukci probíhající při teplotách nad 1000 °C:



Fosfor, který je přítomný v rudě přechází z 95 % do surového železa. Síra přechází z větší části do strusky a vysokopecního plynu. Do surového železa přejde max. 5 % síry. Do strusky přechází i mangan a to 30 až 45 %.

- e) nauhličování železa: na vyredukované železo působí oxid uhelnatý a vzniká Fe_3C . Ten se v železe snadno rozpouští:



Nauhličené železo má nižší teplotu tání a hromadí se v nížeji vysoké pece. Odtud se v pravidelných intervalech vypouští.

- f) vznik strusky: při reakci oxidu křemíku, hliníku a popele z koksu s oxidem vápenatým vzniká struska. Správný průběh tvoření strusky ovlivňuje složení a jakost surového železa.
- g) spalování paliva (koksu): v oblasti výfučen se koks spaluje kyslíkem obsaženým ve vháněném vzduchu (větru) na oxid uhličitý:



V oblasti vzdálenější od výfučen dochází k následujícím reakcím:



Vyrobené surové železo obsahuje příměsi dalších prvků, které jsou uvedeny v tabulce č. 2.1. Surové železo není finální výrobek, ale je to surovina pro další zpracování ve slévárnách (litina) a ocelárnách (ocel).

Tab. 2.1 – Obsah jednotlivých prvků obsažených v surovém železe [9]

Prvek	Název	Obsah v %
C	uhlík	3 až 4
Si	křemík	0,5 až 2
Mn	mangan	cca 1
P	fosfor	0,1 až 2
S	síra	0,05

Dalšími produkty vysoké pece je struska a vysokopecní (kychtový) plyn. Struska se používá ve stavebnictví a při výrobě vláknitých izolací. Vysokopecní plyn, který obsahuje cca 22 % oxidu uhelnatého, 18 % oxidu uhličitého, 2 % vodíku a dusík se využívá jako topný plyn při ohřevu větru pro vysokou pec.

2.2 Suroviny pro výrobu železa [5]

Suroviny pro výrobu železa je možno rozdělit do tří hlavních skupin. Jsou to kovonosné suroviny, palivo a struskotvorné přísady. Pokud není ruda vhodná pro přímé zavezení, upravuje se do pelet nebo aglomerátů.

2.2.1 Kovonosné suroviny

V přírodě je výskyt železa poměrně velký, ale jen velmi ojediněle se vyskytuje v ryzí formě. Pro výrobu surového železa se proto používají jako výchozí suroviny železné rudy, které jsou převážně tvořeny kyslíkatými sloučeninami železa. Nejpoužívanější z nich jsou uvedeny v tabulce č. 2.2.

Tab. 2.2 – Nejpoužívanější rudy železa [5]

Minerál	Vzorec	Skupina	Obsah Fe	Význam
Hematit	Fe_2O_3	bezvodé oxidy	60 %	velký
Magnetit	Fe_3O_4	bezvodé oxidy	68 %	velký
Limonity	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	hydratované oxidy	35-40 %	střední
Siderit	FeCO_3	uhličitany	25-40 %	střední

Hematit (krevel) – Fe_2O_3 je klencový minerál tmavě červené barvy.



Obr. 2.1 – Hematit (krevel) [7]

Magnetit (magnetovec) – Fe_3O_4 je krychlový nerost černé barvy, nejstarší známá látka s magnetickými vlastnostmi.



Obr. 2.2 – Magnetit (magnetovec) [5]

Limonity (hnědele) – $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ je vodnatý oxid železitý, má okrovou až rezavě hnědou barvu. Vzniká sedimentárně srážením hydroxidů železa a hydratací oxidických rud.



Obr. 2.3 – Limonit (hnědel) [5]

Siderit (ocelek) – FeCO_3 je klencový minerál, má žlutohnědou, hnědočernou, nebo šedou barvu.



Obr. 2.4 – Siderit (ocelek) [5]

Ne vždy je možné použít zmíněné železné rudy přímo, ale je nutné je napřed upravit, tak aby proces ve vysoké peci probíhal bezproblémově. Cílem je dosažení lepších fyzikálních vlastností a úprava chemického složení.

Mezi používané metody úprav patří:

- drcení a třídění: příprava vhodné kusovitost,
- pražení: odstranění vody a síry žíháním v pražicích pecích,
- obohacování: zvýšení kvantovosti rudy, odstranění hlušiny,
- briketování (peletování): lisování drobné rudy,
- aglomerace: stmelování drobné rudy spékáním.

2.2.2 Palivo pro vysokou pec

Jako palivo se ve vysokých pecích používá metalurgický koks. Slouží nejen jako palivo, ale také jako redukční činidlo. Dále zabezpečuje oporu a prodyšnost vsázky při vyšších teplotách. Z tohoto důvodu je požadována jeho minimální kusovitost minimálně 40–80 mm.



Obr. 2.5 – Metalurgický koks [10]

Proces výroby metalurgického koksu se nazývá koksování, nebo také karbonizace a probíhá v koksovnách. Je to soubor procesů, které probíhají při řízeném ohřevu uhlí a zamezení přístupu vzduchu. Pro koksování nelze použít všechny druhy uhlí. Používá se černé uhlí, které má potřebné chemicko-technologické vlastnosti.

Metalurgický koks je silně porézní odplyněná hmota (obr. 2.6) s řádově nižším obsahem vodíku a kyslíku a vyšší výhřevností oproti původnímu uhlí. Jedná se o velmi kvalitní palivo s 83 až 91 % uhlíku a 6 až 12 % popela.



Obr. 2.6 – Mikrofotografie nábrusu černouhelného koksu [5]

2.2.3 Struskotvorné přísady

Při výrobě železa mají struskotvorné přísady čistící funkci, tzn., že přebírají z rud a koksu nežádoucí látky, které se pak usazují na povrchu roztaveného železa jako struska. Pro správný chod vysoké pece má struska velký význam. Má za úkol chránit surové železo, aby mělo žádané chemické složení, nebylo nadměrně nasyceno uhlíkem a nebylo oxidováno vzduchem vháněným do vysoké pece. Jelikož převážná většina rud používaných pro výrobu surového železa má kyselý charakter, používají se proto zásadité struskotvorné přísady. Mezi hlavní patří vápenec (CaCO_3) a dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Vápenec – CaCO_3 je monominerální sedimentární hornina, má barvu bílou, šedavou a podle příměsí se zabarvuje i do jiných barevných odstínů. Vápence vznikají dvěma způsoby, biochemicky a biomechanicky.



Obr. 2.7 – Šedý kalový vápenec, lokalita Černotín [5]

Dolomit – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ je monominerální hornina tvořená z více jak 90 % minerálem dolomitem. Většinou obsahuje příměsi kalcitu, méně křemene a jiných nerostů. Je podobný vápenci a patří mezi chemicky usazené nerosty.



Obr. 2.8 – Klencové krystaly dolomitu (minerálu) [5]

2.3 Výroba oceli [4], [5], [7]

Ocel je slitina železa, uhlíku (do max. obsahu 2,14 %) a dalších doprovodných prvků (Mn, Si, P, S, Cu). Tyto prvky se dostaly do oceli při výrobě. Mimo tyto prvky se do oceli přidávají úmyslně ještě další, tzv. legující prvky, které mají za úkol zlepšení vlastností oceli.

Hlavní procesy při výrobě oceli:

- a) oxidace prvků: po přidání rudy a vápna do vsázky probíhá oxidace hlavně Si, Mn, P a C. Pořadí oxidace jednotlivých prvků bude záležet na jejich afinitě ke kyslíku a jejich koncentraci. Oxidací se vsázka zbavuje nežádoucích prvků a snižuje se obsah uhlíku. Při oxidaci uhlíku plynným kyslíkem lze reakci zapsat následovně:



- b) odfosfoření: fosfor zvyšuje náchylnost k popouštěcí křehkosti a proto je v oceli nežádoucí, odfosfoření probíhá na mezifázovém rozhraní struska-kov:



- c) dezoxidace: je snížení aktivity kyslíku v oceli a strusce na přijatelné hodnoty vhodné pro odsíření a dolegování oceli:

dezoxidace křemíkem:



dezoxidace hliníkem:



- d) odsíření: síra patří mezi nežádoucí prvky v oceli, odsíření probíhá pod zásaditými struskami s vysokým obsahem vápna (CaO):



V současné době se využívají převážně dva způsoby výroby oceli ze surového železa. Jedná se o výrobu oceli v kyslíkových konvertorech, které mají největší zastoupení v hutních ocelárnách. Naopak ve slévárnách se k výrobě oceli používají elektrické obloukové pece a indukční pece.

2.3.1 Konstrukce a princip kyslíkového konvertoru [4]

Kyslíkový konvertor je otočná ocelová nádoba hruškovitého tvaru s žáruvzdornou vyzdívkou. Přívod kyslíku je realizován z vrchu pomocí vodou chlazené trysky.

Do konvertoru se nejdříve zaveze ocelový šrot a potom se nalije surové železo. Ještě před nalitím surového železa se do konvertoru vloží 2/3 celkového množství vápna (CaO) jako struskotvorná přísada. Zbytek vápna je přidán až během procesu. Po zavedení nádoby konvertoru vsázkou se nad hladinu začne dmýchat kyslík. Během dmýchání proniká kyslík do taveniny a oxiduje ji (spaluje). Tento proces nepotřebuje palivo, protože oxidace (spalování) je exotermická reakce. Celý proces je velmi rychlý, trvá od 30 do 40 minut a je zakončen odpichem do lící pánve. Při odpichu se ještě ocel dezoxiduje a doleguje.

2.3.2 Konstrukce a princip elektrické obloukové pece [4]

Elektrická oblouková pec je tvořená pecní nádobou, která má sázecí a odpichový otvor. Pecní nádoba je umístěná na kolíbce a může mít zásaditou, nebo kyselou vyzdívkou. Výhodou zásadité vyzdívky je možnost zpracovat šrot s nezaručeným obsahem síry a fosforu.

Jako vsázka je používán ocelový šrot, surové železo a při výrobě legované oceli i některé legující prvky. Během tavení se přidává ruda a vápno (CaO), protože již během tavení probíhá oduhličení a odfosfoření. Vsázka se taví pomocí elektrického oblouku, který hoří mezi grafitovými elektrodami a vsázkou. Teplota oblouku přesahuje 3000 °C. Po natavení vsázky probíhá oxidační údobí (oduhličení, odfosfoření) a redukční údobí (odsíření, dezoxidace). Nakonec se provede odpich oceli.

2.4 Legující prvky [4], [11]

Z hlediska chemického složení se oceli dělí na nelegované a legované. Vychází se z normy ČSN EN 10020. Za legované se považují oceli, které obsahují více než mezní obsah jednoho prvku uvedeného v tabulce č. 2.3. Podle množství legujících prvků je možné legované oceli rozdělit na nízkolegované – součet legujících prvků do 5 % a vysokolegované se součtem prvků nad 5%.

Tab. 2.3 – Mezní obsahy legovacích prvků (v hmotnostních %) pro rozdělní oceli na nelegované a legované podle ČSN EN 10020 [4]

Prvek	Název	Mezní obsah v %	Prvek	Název	Mezní obsah v %
Al	Hliník	0,10	Ni ¹⁾	Nikl	0,30
B	Bór	0,0008	Pb	Olovo	0,40
Bi	Bismut	0,10	Se	Selen	0,10
Co	Kobalt	0,10	Si	Křemík	0,50
Cr ¹⁾	Chrom	0,30	Te	Telur	0,10
Cu ¹⁾	měď	0,40	Ti ²⁾	Titan	0,05
La	Lanthanidy	0,05	V ²⁾	Vanad	0,10
Mn	Mangan	1,65 ³⁾	W	Wolfram	0,10
Mo ¹⁾	Molybden	0,08	Zr ²⁾	Zirkonium	0,05
Nb ²⁾	Niob	0,06		Ostatní ⁴⁾	0,05

1) Pokud jsou pro ocel uvedeny dva, tři nebo čtyři prvky označené touto poznámkou, pak je nutné vzít v úvahu jejich součet, který činí 70% součtu mezních obsahů těchto dvou tří nebo čtyř prvků.

2) Pravidlo uvedené v pozn. 1 platí odpovídajícím způsobem také pro prvky označené pozn. 2.

3) Pokud je pro obsah Mn udána pouze jeho vyšší hodnota, platí jako mezní obsah 1,80%.

4) Ostatní s výjimkou C, P, S, N

Hlavní důvody legování ocelí jsou:

- zvýšení mechanických vlastností jako je tvrdost a pevnost při současném zachování dostatečné houževnatosti (Mn, Si, Ni, Mo, Cr),
- zvýšení prokalitelnosti (Cr, Mn, Mo, V, Ni, B),
- zvýšení žárovevnosti (Cr, Mo, W, V),
- zvýšení korozivzdornosti (Cr, Ni, Mo, Si, Cu),
- zvýšení odolnosti proti oxidaci za vysokých teplot,
- vytvoření tvrdých a opotřebených odolných karbidů (Cr, Mo, W, V).

Přehled nejpoužívanějších legujících prvků:

Mangan – patří mezi austenitotvorné prvky. Mangan rozpuštěný ve feritu zvyšuje jeho pevnost a snižuje tažnost. Ovlivňuje tepelné zpracování oceli. Manganové oceli jsou náchylné na zhrubnutí zrna, proto je nutné dodržet při tepelném zpracování austenitizační teplotu. Mangan se pro svoji cenovou a snadnou dostupnost používá spolu s dalšími prvky především při legování konstrukčních ocelí.

Chrom – patří do skupiny feritotvorných prvků. Po manganu nejpoužívanější prvek pro legování. Obsah chromu určuje tvrdost a mechanickou odolnost. Při legování vyššími koncentracemi chromu (nad 12%) je dosahováno korozivzdornosti oceli. Chrom zlepšuje žáruvzdornost a žáropevnost. Jako legura se používá i u nástrojových ocelí kde zvyšuje prokalitelnost a tvrdost.

Nikl – patří mezi austenitotvorné prvky. Vedle manganu a chromu patří mezi základní prvky pro legování ocelí. Nikl zvyšuje pevnost více než chrom, ale méně než molybden. Jeho hlavní využití je u ocelí, které mají mít vysokou houževnatost zejména za nízkých teplot.

Molybden – patří mezi feritotvorné prvky. Již při malém množství molybdenu se zvyšuje tvrdost, mechanická a korozní odolnost. Z molybdenových ocelí se vyrábějí silně namáhané strojní součásti.

Vanad – patří mezi silně feritotvorné prvky. V oceli spolu s uhlíkem tvoří velmi tvrdý karbid V_4C_3 . Tento karbid rozptýlený v oceli zjemňuje zrnitou strukturu. Díky tomu je materiál odolnější proti opotřebení, zvláště za vyšších teplot. Oceli s vyšším obsahem vanadu jsou žáropevné a odolné proti vodíkové korozi.

Wolfram – patří mezi feritotvorné prvky. Wolfram se v oceli projevuje zvýšením tvrdosti, mechanické a tepelné odolnosti. V nízkolegovaných ocelích zjemňuje lamely perlitu a tím zvyšuje jejich pevnost. Nejvíce se jako legura uplatňuje u žáropevných ocelí.

Křemík – patří do skupiny silně feritotvorných prvků. Netvoří v oceli karbidy, ale zcela se rozpouští ve feritu a tím ho zpevňuje. Do obsahu 0,5 % se nepovažuje za leguru, ale za dezoxidační přísadu.

Prvky, které mají nižší afinitu ke kyslíku než železo jako např. Ni, Cu, Mo a W se přidávají před oxidací. Naopak prvky s vyšší afinitou ke kyslíku jako Mn, Cr, V, Si, Al, Nb a Ti se přidávají do dezoxidované oceli z důvodu snížení jejich propalu.

3 VÝROBA CHLADNÝCH ZBRANÍ [12], [13]

Za chladnou zbraň lze považovat předmět vyrobený z různých druhů materiálů, který slouží k boji v přímém střetu, k loveckým, nebo sportovním účelům. V dnešní době získaly chladné zbraně na oblibě i jako dekorativní předměty. Výroba chladných zbraní se postupně vyvíjela a docházelo tak především, ke změnám tvaru, použitých postupů výroby a použitých materiálů.

Mezi chladné zbraně jsou zařazeny sekery, bojová kladiva, palcáty, bijáky, oštěpy, kopí, halapartny, dýky, tesáky, rapíry, kordy a šavle. Nejznámější a ve své době nejpoužívanější zbraní byl meč, který byl považován nejen za zbraň, ale i odznak moci. Oproti ostatním zbraním byly pro jeho výrobu použity materiály mnohem vyšší kvality. Tato skutečnost byla dána jednak tvarem čepele a také vyšším namáháním materiálu.

Možnosti rozdělení chladných zbraní:

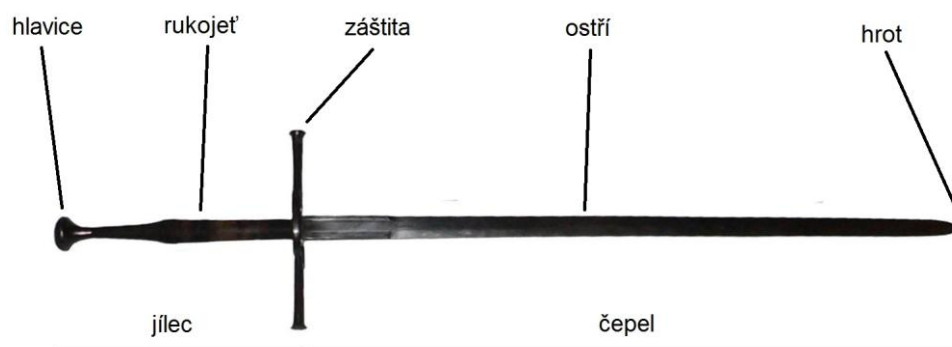
- podle vzhledu (krátké, dlouhé),
- podle způsobu použití (sečné, bodné, úderné),
- podle funkce (vojenské, civilní, sportovní, ceremoniální),
- chronologicky.

3.1 Historický přehled chladných zbraní [12], [14]

Pro porovnání výroby chladných zbraní a použitého materiálu k jejich zhotovení je nejvýhodnější chronologické dělení a omezení na historický vývoj meče jako hlavního představitele.

Meč se skládá z několika hlavních částí:

- čepele, jejíž součástí je ostří a hrot
- jílece, který se skládá z rukojeti, hlavice (hrušky) a záštity



Obr. 3.1 – Hlavní části meče [14]

2000 - 1000 př. n. l. – bronzové meče

Meč patří k nejstarším zbraním vůbec. Počátky jeho výroby sahají do doby bronzové, kdy byl odléván z bronzu a dosahoval délky 750-900 mm.



Obr. 3.2 – Bronzový meč [15]

1000 př. n. l. – počátek našeho letopočtu – keltské meče

Doba železná je rozdělena na dvě období: Halštát a Latén. V této době dochází k rozvoji hutnictví železa a tím k rozvoji kovářství a výroby železných mečů. Zpočátku byly souběžně vyráběny jak meče bronzové, tak i železné, ale nesporné výhody železa odsunuly výrobu bronzových mečů do pozadí. V době laténské došlo ke zdokonalení výroby mečů, ale také k oddělení hutnictví a kovářství a tím k větší produkci. Železné meče z této doby dosahovaly délky i jeden metr a váhy 900 g.



Obr. 3.3 – Replika keltského meče [1]

1. století př. n. l. – 6. století n. l. – římské meče

Nejnámějším římským mečem byl Gladius. Meč dlouhý 500-600 mm a široký 50 mm s velmi jednoduchou listovou čepelí.



Obr. 3.4 – Gladius – replika římského meče [1]

7. století n. l. – 11. století n. l. – vikinské meče

Vikinské meče byly ve vývoji tohoto typu zbraní průlomové. Směrem ke špičce, která byla tupá, se zužovali, byli tak lehčí a sloužili především jako sečné zbraně. Délka meče byla cca 1000 mm.



Obr. 3.5 – Replika vikinského meče [1]

11. století n. l. – 12. století n. l. – románské meče

Románské meč se vyvinul z vikinského meče. Prodloužila se záštita a bylo tak možné lepší krytí a ochrana rukou. Z tohoto typu meče vycházeli následně gotické jednoruční meče.



Obr. 3.6 – Replika románského meče [1]

12. století n. l. – 16. století n. l. – gotické meče

Gotické meče pokrývají delší období a i jejich vývoj během této doby pokračoval. Podle délky rozeznáváme meče jednoroční, jeden a půl ruční tzv. dlouhé meče a dvouruční.

Jednoruční meč – jedna z nejpoužívanějších zbraní středověku, která se používala v malých obměnách až do 17. století. Délka byla 800 až 1200 mm o váze 800 až 1200 g.



Obr. 3.7 – Replika jednoročního meče [16]

Jeden a půl ruční meč (dlouhý meč) – typ meče používaný od 14. do 16. století. Délka meče je ovlivněna výškou šermíře a pohybovala se okolo 1200 mm a váhy 1500 g.



Obr. 3.8 – Replika jeden a půl ručního meče [14]

Dvouruční meč – jedná se o sečnou i bodnou zbraň, která se začala objevovat ve druhé polovině 15. století a největšího rozmachu dosáhla v 16. století. Dvouruční meče dosahovaly celkové délky 1500 až 1800 mm a průměrné váhy 4000 g.



Obr. 3.9 – Replika dvouručního meče [16]

16. století – Katzbalger

Katzbalger byl krátký meč z počátku 16. století používaný jednotkami Lancknechtů. Měl dvousečnou čepel dlouhou cca 600 mm a širokou 40 až 50 mm.



Obr. 3.10 – Katzbalger – replika meče [16]

3.2 Materiál pro výrobu chladných zbraní [2], [17]

Přestože byly chladné zbraně dominantní až do 16. století, kdy je postupně nahradily mnohem účinnější palné zbraně, tak použité materiály na jejich výrobu se za dobu jejich používání příliš nezměnily. Jako materiál pro výrobu chladných zbraní se zpočátku používal bronz, ale s příchodem doby železné se začíná jako dominantní materiál uplatňovat železo a ocel.

Od počátku doby železné do 16. století probíhala výroba železa přímou výrobou v pecích, většinou hliněných, ale tavilo se i v pecích vtesaných a zahluobených. Vyprodukované množství železa bylo velmi malé a závislé na velikosti tavící pece.

Při přímé výrobě železa byly používány dvě suroviny. Jako zdroj železa byly použity dostatečně bohaté železné rudy.

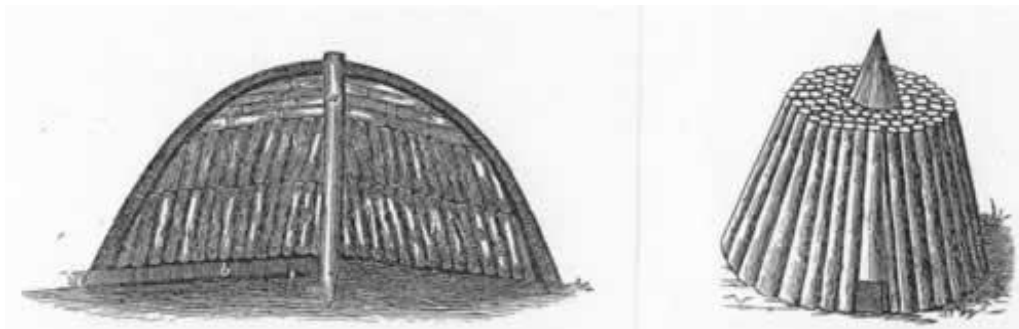
Aby bylo možné použít železnou rudu pro výrobu železa, bylo nutné nejprve výchozí materiál upravit. Mezi tyto úpravy patřilo třídění, drcení a pražení.

Třídění – mělo za úkol zbavit rudu nežádoucích příměsí – hlušiny. Provádělo se při samotné těžbě a pak také po drcení na místě spotřeby.

Drcení – bylo prováděno před pražením, ale i po něm kdy ruda ztratila svoji tvrdost. Velikost nadrcené rudy se pohyboval v závislosti na velikosti pece.

Pražení – byl přípravný proces, který měl za úkol zbavit rudu volné i vázané vody, uvolnit síru z rud, usnadnit redukovatelnost hutných a těžko redukovatelných rud a zlepšit drtitelnost.

Druhou surovinou používanou pro výrobu železa bylo dřevěné uhlí. Nejdříve se pálilo v uhelných jamách. Tento materiál si pro svoji potřebu převážně připravovali samotní hutníci. S postupem času a rostoucí poptávkou po železe bylo nutné zvýšit i produkci dřevěného uhlí. Dřevěné uhlí tak začali pálit uhlíři v milířích.

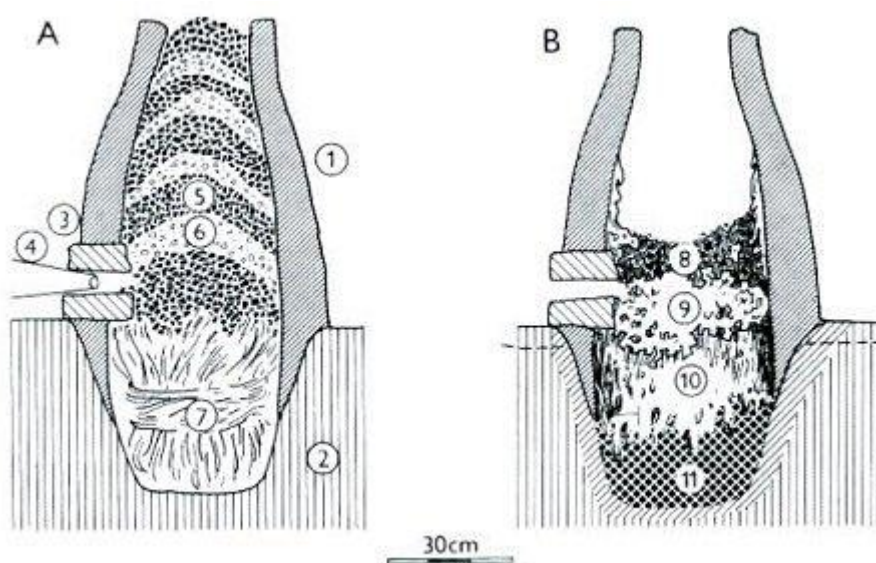


Obr. 3.11 – Různé druhy milířů, vlevo německý, vpravo slovanský typ. [18]

Proces pálení dřevěného uhlí se nazývá pyrolýza, nebo suchá destilace. Jedná se o jednoduchý chemický proces, při kterém dochází k uvolnění vody, vzniku CO_2 a dalších plynů.

Samotnou výrobu materiálu vhodného pro výrobu chladných zbraní, ale i ostatních nástrojů lze rozdělit na dvě hlavní části. První je přímá výroba železa a jeho následné zkujnění na ocel.

Přímá výroba železa – probíhala v pecích různých typů a velikostí. Jednalo se o pece se zahluobenou nístějí, nadzemní jílové pece, nebo vtesané pece s přirozeným, nebo nuceným přívodem vzduchu. Nucený přívod byl realizován pomocí měchů.



Obr. 3.12 – Tavící pec [17]

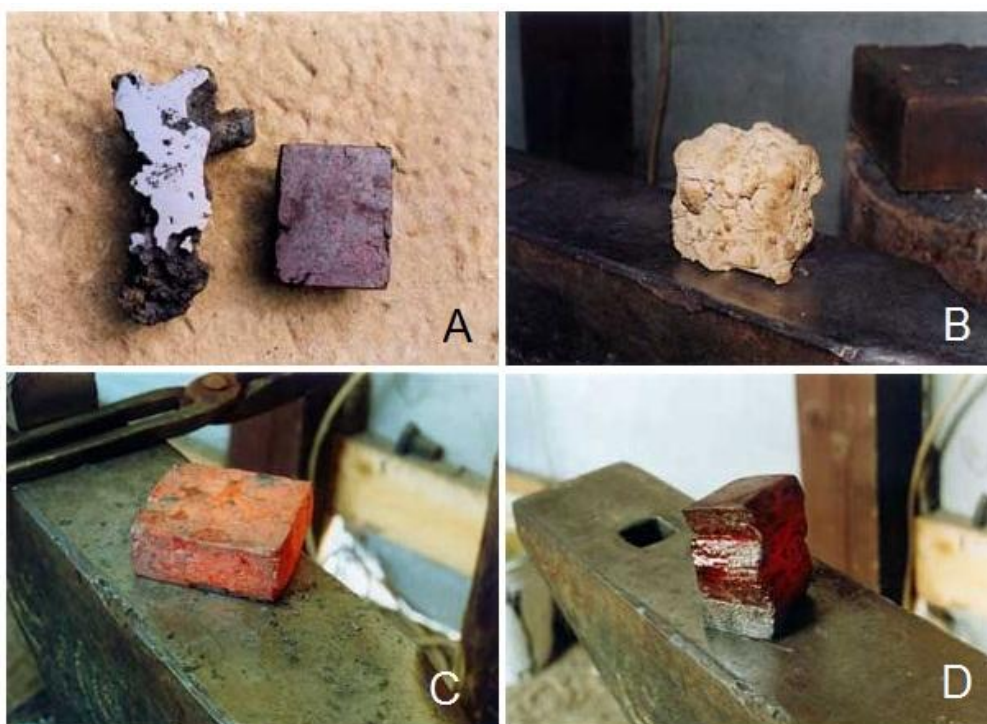
- A) stav před tavbou: 1 – plášť pece, 2 – podloží, 3 – dyznová cihla, 4 – dmychadlo, 5 – dřevěné uhlí, 6 – železná ruda, 7 – sláma, nebo proutí
- B) stav po tavbě: 8 – zbytky paliva, 9 – železná houba, 10 – struska, 11 – vyhořelé palivo

Samotnou tavbu je možno rozdělit na tři základní fáze: [2]

- Příprava pece na tavbu (redukci), která spočívá v rozhoření dřevěného uhlí.
- Rovnoměrné přidávání železné rudy a dřevěného uhlí. Hmotnostní poměr jednotlivých složek byl 1:1. Ruda vhozená do pece spolu s dřevěným uhlím díky vyhořívání uhlí v úrovni dyzen postupně klesá. Dochází k reakci oxidů železa s oxidem uhelnatým a vzniká tak metalické železo. Oxid uhelnatý omývá zrno rudy a redukuje jeho slupku, na povrchu zrna tak vzniká kov. Při postupném klesání zrna rudy se zesiluje vrstva kovu a zvyšuje se teplota. Po zahřátí zrna na teplotu 1200 – 1300 °C se zbylý objem rudy roztavil a vytekl ze zrna a zůstala tak pouze pevná část. Dřevěné uhlí vedle funkce paliva vytváří v úrovni dyzny pevný filtr, který zachycuje pevné části a propouští tekutou strusku. Takto zachycená zrna železa se shlukují a vytvářejí takzvanou železnou houbu.

- Fáze dohoření a vyjmutí vytavené houby z pece. Z metalurgického hlediska bylo výhodnější nechat houbu v peci delší dobu. Došlo tak k dodatečnému nahuštění houby a tím ke zlepšení vlastností vytaveného materiálu. Z hlediska ekonomického bylo naopak výhodnější nechat zpracovat vsazenou rudu a pak vytavenou houbu vytáhnout a následně kovářsky zpracovat. Nedocházelo tak k tepelným ztrátám a ušetřilo se za další ohřev materiálu.

Kování železné houby – bylo až do 16. století prováděno pomocí ohřevu a následného kování vytavené houby, kdy se celý proces několikrát opakoval. Kováním se železná houba homogenizovala a zbavovala struskotvorných vměstků. Vytavená houba byla opakovaně dělena a kovářsky svařována až do dosažení požadovaných vlastností a jakosti materiálu. Výslednými produkty tohoto procesu byly hřívny tzv. svářkové oceli několika typů – sekerovité, bochníkovité a naseknuté. Postup přípravy materiálu je zobrazen na obrázku č. 3.13 [1], [2].



Obr. 3.13 – Jednotlivé fáze přípravy materiálu [1]

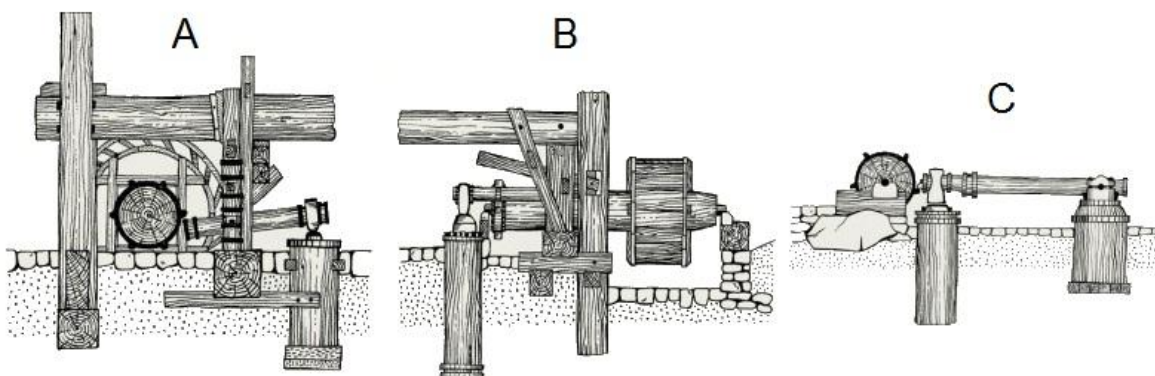
A) vlevo kus vytavené oceli, vpravo kus připravený do balíku, B) balík 5ks oceli obalený hlinou před svařením, C) balík po svaření, má v sobě ještě mnoho strusky a prasklin, D) balík před dalším svařením, proces se opakuje 4-8× dokud není ocel čistá.

Do vynálezu kovacího hamru, který se začal rozšiřovat od 12. století, bylo železo zpracováváno ručně v kovárnách. Díky velmi namáhavé práci nebyla produkce příliš vysoká. Právě kvůli zvyšující se poptávce byly hledány nové technologie zpracování. Kovací hamr poháněný vodou zmechanizoval výrobu a jeho použitím byla zvýšena produkce zpracovávaného železa. Vodní hamry se začaly stavět na řekách a potocích poblíž železářských pecí, jejichž produkci zpracovávali. Vznikaly tak první hutní závody [19].

Hamr – je strojní kovářská dílna, která má stroje poháněné vodním kolem. Vybavení hamru bylo stejné jako u klasické ruční kovárny. Jeho součástí byla výheň, měchy, kovadliny. Hlavní součástí hamru byl buchar, nazývaný pro svůj tvar „kobyly“.

Rozeznáváme tři konstrukční varianty hamrů podle způsobu zdvihu (obr. 3.14):

- **Chvostový hamr** je v podstatě dvojzvrtná páka, která je tvořena dubovým prizmatem na jednom konci osazeným kovací hlavou o váze až 300 kg. Nad druhým koncem páky se otáčí ozubené kolo spojené hřídelí s vodním kolem. Ozuby při otáčení kola stlačují konec páky dolů a tím zvednou kovací hlavu, která pak dopadá vlastní vahou na kovadlinu [19].
- **Bočně nadhazovaný hamr** pracuje na principu jednozvrtné páky. Páka je nadhazována ozubeným kolem umístěným přibližně v polovině její délky zespoďu [19].
- **Čelně nadhazovaný hamr** je také jednozvrtná páka. U toho typu je ozubem nadhazováno čelo „kobyly“ [19].



Obr. 3.14 – Typy vodních hamrů [19]

A) chvostový, B) bočně nadhazovaný, C) čelně nadhazovaný

Polotovary po kovářském zpracování železa byly tyče plochého a čtvercového profilu (šíny a štáfy), kulatého profilu (štangle), kované dráty (cány), kované plechové pláty a pakety, což byly svazky svařených tyčí případně drátů pro výrobky větších rozměrů. Tyto polotovary dále zpracovávali další odbornosti, v případě chladných zbraní to byli zbrojíři a mečíři. Kovové pláty zpracovávali platněři [19].

3.2.1 V současnosti používané materiály pro výroby chladných zbraní [16]

Díky velkému počtu skupin historického šermu a sběratelskému zájmu se začalo výrazně rozvíjet novodobé zbrojířství. Kováři při výrobě replik historických zbraní dnes z 90% používají na jejich výrobu ocel na pružiny s označením 54SiCr6, která je ekvivalentem pro ocel dle ČSN 41 4260. Tento materiál se používá při výrobě replik na čepel zbraně. Na ostatní části jako je záštita a hlavice se používají běžné konstrukční oceli, případně barevné kovy.

Ocel 54SiCr6 je nízkolegovaná ušlechtilá křemíko-chromová ocel pro zušlechtitelné pružiny. V průmyslu se používá na výrobu vysoce rázově namáhaných pružin, pružných elementů u kolejových vozidel a automobilů, na torzní tyče a ventilové pružiny spalovacích motorů. Materiálový list oceli 54SiCr6 je uveden v příloze č. 5.

Tento materiál je vhodný pro výrobu čepelí mečů, protože po zakalení na tvrdost v rozmezí 50 až 54 HRC je zaručena dobrá odolnost při úderu a zároveň vysoká a dlouhodobá vrubová houževnatost, která minimalizuje riziko vzniku lomu. Zároveň nehrozí odlétávání malých odštěpků.

Ve velmi malé míře se jako materiál používá kovářsky zkujněné železo vyrobené přímou výrobou v pecích podle historických postupů. Jedná se především o rekonstrukce skutečných, historicky doložených, zbraní [1].



Obr. 3.15 – Replika římského meče, originál nalezen v Blučině u Brna [1]

3.3 Technologie výroby chladných zbraní [12], [14], [20], [21]

3.3.1 Historické technologie výroby chladných zbraní

Z důvodu nedostatku kvalitního materiálu na výrobu čepelí mečů byly hledány technologie jak dosáhnout požadovaných vlastností. Z tohoto hlediska bylo třeba zajistit, aby čepel měla dostatečně tvrdé ostří a houževnaté jádro a z hlediska ekonomického byl brán zřetel na dostupnost kvalitního materiálu.

Jednou z možností bylo kombinovat materiál o různých vlastnostech. Na jádro bylo použito houževnaté a dobře kujné železo a na ostří byla použita tvrdá ocel. Zbrojníci tak byli nuceni nalézt technologie jak toho dosáhnout. K tomuto účelu byla nejvhodnější technologie kovářského svařování.

Kovářské svařování – jedna z nejnáročnějších kovářských operací, která byla až do 19. století jedinou metodou spojování kovů na bázi železa. Je to spojování materiálu za vysoké teploty a tlaku. Při svařování dvou různých druhů materiálu jakým byla tvrdá ocel a měkké železo bylo nejdůležitější dodržet správnou teplotu při svařování, protože každý materiál bylo třeba nahřát na jinou teplotu. Aby se ocel nespálila a neoduhličila bylo nutné ji nahřát na teploty mezi 850 až 900 °C, naopak železo se nejlépe svařovalo při teplotách 1300 až 1400 °C. Z tohoto důvodu bylo nutné oba materiály ohřívat zvlášť a dbát na správnou teplotu podle barvy žáru, aby mohlo dojít ke správnému a kvalitnímu spojení – svaření.

Metoda kovářského svařování se při výrobě čepelí používala až do poloviny 15. století, kdy se kvalitní ocel stávala dostupnější, a začaly se objevovat celooceľové homogenní meče.

Z doložených nálezů je možno rozdělit kovářsky svařené čepele podle jejich konstrukce (obr. 3.16): [1], [14]

- **Čepel s navařeným ostřím** – čepel byla vykována s měkkého železného jádra, na kterém bylo kovářsky navařeno tvrdé ocelové ostří. Do příchodu průmyslové revoluce byl tento typ jedním z nejpoužívanějších.
- **Čepel s měkkým jádrem** - čepel byla vykována z měkkého železného jádra, které bylo následně zakováno do oceli.
- **Sendvičová čepel** - čepel obsahovala ocelové jádro, které bylo na plochých stranách zesíleno navařenými železnými pásy.
- **Protodamask** - čepel měla jádro vykováno ze svařených železných a ocelových pásů. Na jádře byly navařeny ocelové břity. Jádro se lehce naleptávalo, aby vystoupila struktura protodamasku.
- **Svářkový damask** - jádro bylo vykováno z damascénské oceli, tj. svařených a mnohokrát překládaných pásů železa a oceli, což vytvářelo složitější strukturu než u protodamasku. Jádro bylo opět lehce naleptáno kyselinou, aby vystoupila struktura damasku. Tento typ čepelí byl oblíben zejména v závěru starověku a ranném středověku, později se od něj upouští, především kvůli pracnosti výroby.



Obr. 3.16 – Řez různými druhy čepelí [1]

tmavá barva = tvrdá ocel, světlá barva = měkké železo

Zleva: čepel s navařeným ostřím, čepel s měkkým jádrem, sendvičová čepel, protodamask – předchůdce svářkového damasku, svářkový damask s měkkým jádrem.

3.3.2 Technologie výroby replik chladných zbraní [1], [16]

Během vývoje chladných zbraní se technologie jejich výroby příliš neměnila. Vždy se jednalo o náročnou kovářskou práci. Nejinak je tomu i dnes při výrobě replik chladných zbraní. Stejně jako u použitých materiálů na výrobu replik, tak i technologii výroby lze rozdělit dle několika kritérií.

Jedním kritériem je použití repliky a to zda se jedná pouze o výstavní kus, nebo o funkční repliku použitou buď při scénickém, případně bojovém historickém šermu. Druhým kritériem je věrnost zhotovení repliky a to zda se jedná o dobovou rekonstrukci historicky doložitelné zbraně, nebo o repliku která odpovídá pouze svým zařazením do určitého historického období.

V případě věrných rekonstrukcí se používají jak dobové postupy pro přípravu materiálu, tak i postupy na samotnou výrobu zbraně a jednotlivé části jsou vyráběny ručně. Výroba tak začíná tavbou materiálu, postupným zkujněním pomocí prokování (homogenizaci) materiálu a kovářským svařením získaného materiálu do většího celku. Dále následuje vykování čepele do požadovaného tvaru. Následuje zakalení a popuštění čepele, které zajistí požadované vlastnosti. Jednou z posledních operací je broušení a doleštění čepele. U damascenských čepelí je provedeno ještě naleptání, aby vynikla charakteristická kresba. Takto vyrobená čepel se zkompletuje s dalšími částmi, kterými jsou záštita, rukojeť a hlavice. Hlavice je opatřena průchozím otvorem, je naražena na trn a konec trnu roznýtován a zajišťuje tak vzájemně jednotlivé části ve složeném stavu.

Při výrobě běžně používaných zbraní na historický šerm jsou použity průmyslově vyráběné materiály. Samotný výrobní postup zahrnuje jak kování, tak i třískové obrábění (soustružení), které se uplatňuje především při výrobě hlavice a záštit. Technologie výroby zahrnuje vykování tvaru čepele z polotovaru, zakalení na tvrdost 50 až 54 HRC, broušení a leštění. Hlavice rotačních tvarů jsou soustruženy a broušeny. Hlavice je následně naražena na trn a i v tomto případě se používá roznýtování konce trnu. Jako další možnost uchycení hlavice se používá šroubový spoj, kdy na trnu a v hlavici je vyroben závit.



Obr. 3.17 – Čepel před kovářským navařením a po navaření ostří [1]

4 DAMASCENSKÁ OCEL [22]

Materiál s názvem damascenská ocel je opředený mnoha legendami. Vyznačoval se výbornými mechanickými vlastnostmi a typickou kresbou připomínající vlnky na vodní hladině.

V minulosti se damascenská ocel používala výhradně na výrobu velmi kvalitních chladných zbraní. S příchodem palných zbraní se ještě v malém měřítku používala na jejich hlavně. Dnes se pojmem damascenská ocel značí většina materiálu, které svoji kresbou připomínají původní damascenskou ocel. Použití damascenské oceli se v současnosti neomezuje jen na zbraně. Tento materiál našel uplatnění také ve výrobě šperků, jídelních příborů a uměleckých předmětů. Svůj podíl na tom má i výroba damascenské oceli metodou práškové metalurgie.

4.1 Historie damascenské oceli [23], [24]

Damascenská ocel je známá také pod jmény: damašková, damasková, damašek, nebo také damashk. Jméno jí dalo město Damašek ležící v dnešní Síríi, které bylo ve své době významným obchodním centrem s touto surovinou a výrobky z ní. Velký podíl na výrobě zbraní z damascenské oceli měla i Mezopotámie, Persie a východní Indie. Z těchto míst pochází tzv. pravý damašek – lité. Vznik tzv. pravého damašku je datován kolem roku 300 našeho letopočtu, ale jsou uváděny i objevy z 1. tisíciletí př. n. l. Výroba pravého damašku pokračovala až do roku 1700, kdy postupně zanikla. Důvodem mohlo být i rozšíření palných zbraní a tím ústup chladných zbraní do pozadí zájmu. V novodobé historii se pokusil o rekonstrukci zapomenutých postupů litého damašku především ruský metalurg P. P. Anosov, který v roce 1838 vyvinul kelímkovou ocel s názvem „bulat“. Jeho meče vyrobené z bulatu sklídily velký úspěch na průmyslové výstavě v Londýně roku 1851. Tzv. nepravý (svářkový) damašek je považován za pokus o napodobení pravého damašku, ale archeologické nálezy potvrdily jeho vznik již 500 let př. n. l., kdy si jeho výrobu osvojili staří Keltové. Je tedy velmi pravděpodobné, že se tyto dvě technologie výroby damascenské oceli vyvíjely nezávisle na sobě. Tato skutečnost by vysvětlovalo tolik odlišný způsob výroby pravé a nepravé damascenské oceli.

4.2 Druhy damascenské oceli [22], [25]

Z dnešního pohledu rozeznáváme dva druhy damascenské oceli. Jedná se o lité damašek nazývaný pravý, známý pod jmény Wootz, Bulat, nebo také Indická ocel.



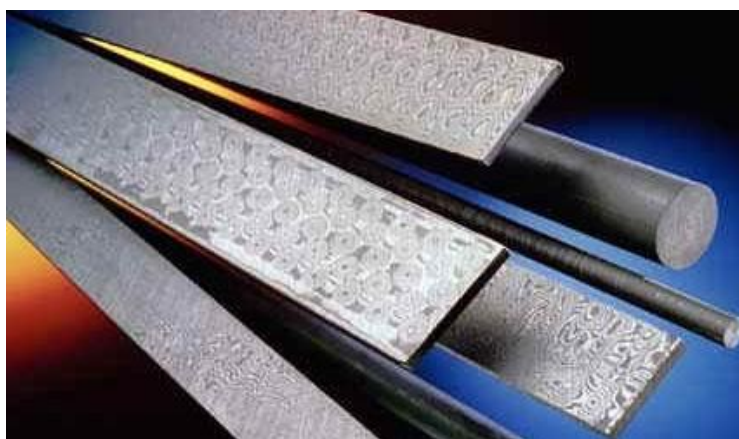
Obr. 4.1 – Čepel nože z wootzu [3]

Dalším druhem damascenské oceli je tzv. svářkový damašek vyráběný ze dvou, případně více druhů materiálů, spojovaných kovářským svařováním.



Obr. 4.2 – Čepel meče ze svářkového damašku [1]

Samostatnou kapitolou je moderní výroba damascenské oceli pomocí práškové metalurgie které se věnuje Švédská firma Damasteel AB.



Obr. 4.3 – Polotovary firmy Damasteel AB [26]

4.3 Principy výroby damascenské oceli [3], [27]

Přestože se nedochovaly kompletní technologické postupy výroby damascenské oceli, tak se na základě nálezů zbraní a jejich materiálových rozborů pokusilo mnoho světových metalurgů a na zbraně zaměřených historiků jejich výrobu zrekonstruovat a dosáhnout odpovídajících vlastností. Této problematice se v současné době věnuje s většími či menšími úspěchy mnoho nožířů jak ve světě, tak i v České republice.

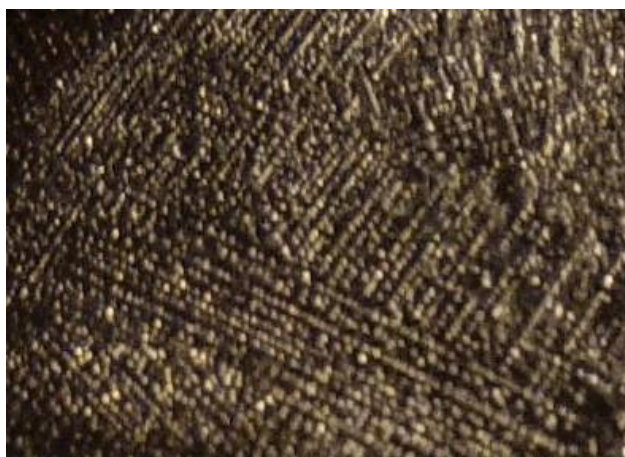
4.3.1 Litá damascenská ocel – Wootz, Bulat [22], [27], [28]

Pravá damascenská ocel – wootz je speciální druh oceli s krystalickou a dendritickou strukturou. Jedná se o ocel s poměrně vysokým obsahem uhlíku a nízkým až stopovým obsahem dalších prvků. Množství uhlíku je uváděno průměrně 1,5 % a z ostatních je to převážně vanad (cca 0,003 %) a molybden.

Výroba tohoto typu damascenské oceli spočívá v tavení výchozího materiálu v uzavřeném kelímku (tyglíku). Kelímek musel být vyroben z materiálu, který byl

schopen odolat vysokým teplotám v peci. Do kelímku byly vkládány vybrané a vyčištěné kousky železa, dále se přidávalo dřevěné uhlí, nebo suché větvičky a několik zelených listů. Dřevěné uhlí, případně suché větvičky byly zdrojem uhlíku, přidávání zelených listů nebylo v současnosti prokazatelně objasněno. Na závěr se přidávaly drcené lastury, případně jiné zdroje vápence, které měly za úkol vytvořit strusku a navázat nežádoucí prvky jako je fosfor, síra a kyslík. Takto zaplněný kelímek se uzavřel a vložil do pece. Teplota tavení se pohybovala v rozmezí teplot 1200 až 1500 °C po dobu několika hodin (3,5–4,5 hod.). Uzavření kelímku má za úkol zamezit přístupu vzdušného kyslíku k tavenině a tím zabránit oxidaci uhlíku.

Německý kovář a velký odborník na wootz Achim Wirtz popsal celý proces vzniku wootzu takto: „*Během extrémně pomalého ochlazování roztavené oceli se vytváří dendritická struktura austenitu. Čím pomalejší je ochlazování, tím větší budou dendrity (austenitické krystaly). Mezi těmito dendrity, v interdendritické fázi, zůstávají volné karbidy poněkud déle v tekutém stavu, protože mají nižší bod tuhnutí. Další ochlazení způsobí ztuhnutí také těchto karbidů. Během tuhnutí mají karbidy vanadu, díky své struktuře, tendenci zůstat (plavat) na čele postupující vlny tuhnutí, nemísí se do vznikající struktury. Poslední ztuhlou složkou oceli jsou pásy karbidů vanadu, které se tak nacházejí ve středu interdendritické fáze. Tyto vyloučeniny karbidů vanadu vytvářejí jakési negativní obrazy primárních, sekundárních a terciárních dendritů odlišné koncentrace.*“ [22]



Obr. 4.4 – Ingot před kováním (6 × zvětšeno) [29]

Výsledkem tavení je ingot, který se následně zpracovával kováním. Jelikož vytavená ocel obsahuje větší množství uhlíku, tak kování probíhá ve velmi úzkém rozmezí teplot. Ingot se zahřeje na cca 920 °C a kove se do teploty cca 730 °C. Pro vykování je tedy třeba až 100 cyklů, případně více dle tvaru a velikosti výsledného tvaru kované čepele.

4.3.2 Svářková damascenská ocel [1], [25]

Princip svářkového damašku je založen na spojení materiálů různých vlastností kovářským svařováním. Tímto způsobem bylo dosaženo potřebné tvrdosti, ale i houževnatosti. Při výrobě čepelí tak byly nahrazeny nedokonalé metalurgické procesy a nemožnost vyrobit vhodný materiál.

Celý proces začínal výběrem vhodného materiálu. Většinou se jednalo o dva druhy s různým obsahem uhlíku. Následovalo kovářské svařování, při kterém se materiál kovářsky svařil, vykoval do délky, přeložil a znovu kovářsky svařil. Tento postup se opakoval a při každém přeložení se počet vrstev zdvojnásobil. Nejběžnější počet vrstev byl v rozmezí 100 až 500.

Výsledný vzor na čepeli byl dosažen jednak svařováním různorodého materiálu, ale také zkroucením již hotových svařených tyčí (obr. 4.5).



Obr. 4.5 – Zkroucené tyče svářkové damascenské oceli [1]

4.4 Průmyslová výroba damascenské oceli v současnosti [26], [30]

S rostoucí poptávkou po damascenské oceli jako materiálu na výrobu luxusních nožů, ale také jako dekorativního materiálu se hledají způsoby na jeho průmyslovou výrobu. Jedna z metod je výroba damascenské oceli pomocí práškové metalurgie.

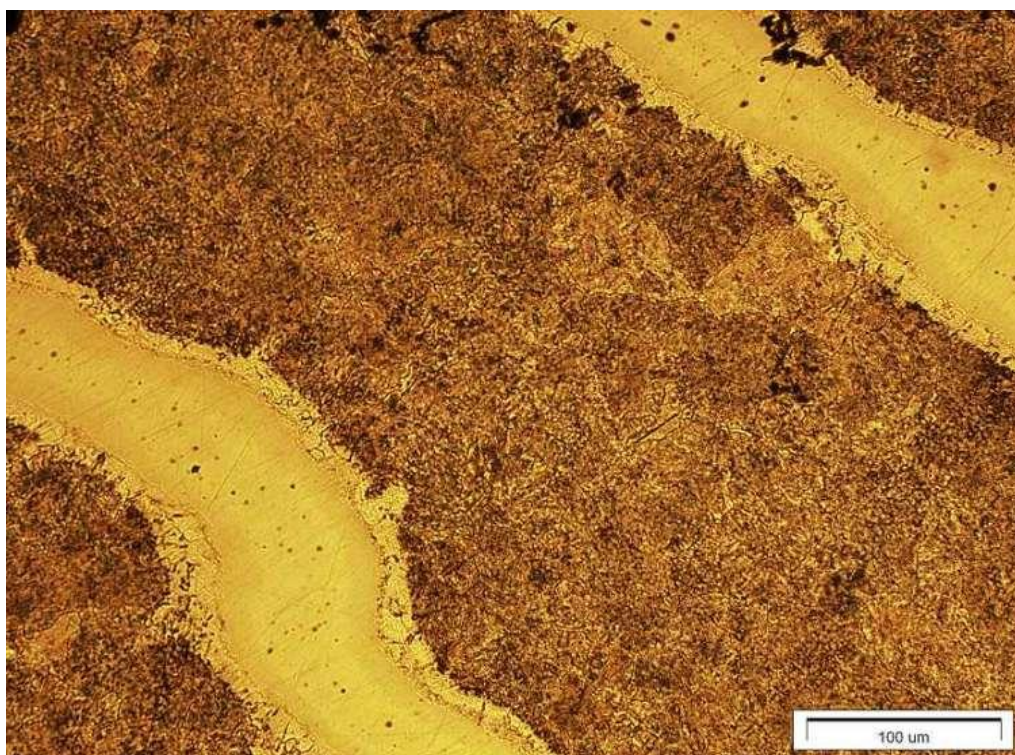
Jedná se o metodu rychle tuhnoucího prášku. Rozprášená tavenina se rychle ochlazuje a vznikají tak kapičky o velikosti řádově 60 μm . Tím dojde k velmi jemnému přerozdělení legur a karbidů. Potom se prášek plní do kapslí, které se uzavřou a zvakuují. Prášek je s kapslí následně zhutňován za vysoké teploty a tlaku izostatickým lisováním. Vznikne tak materiál, který by nebylo možné vyrobit klasickým metalurgickým procesem.

Pomocí této metody je vyráběna damascenská ocel s názvem Damasteel švédskou firmou Damasteel AB. Damaškové struktury se dosahuje střídáním dvou druhů nerezových ocelí a to RWL 34 a PCM 27, jejichž složení je uvedeno v tabulce č. 4.1. Dávku a místo dávkování prášku lze ovlivnit a tak je množství a pestrost struktur takto vyrobené damascenské oceli téměř neomezená.

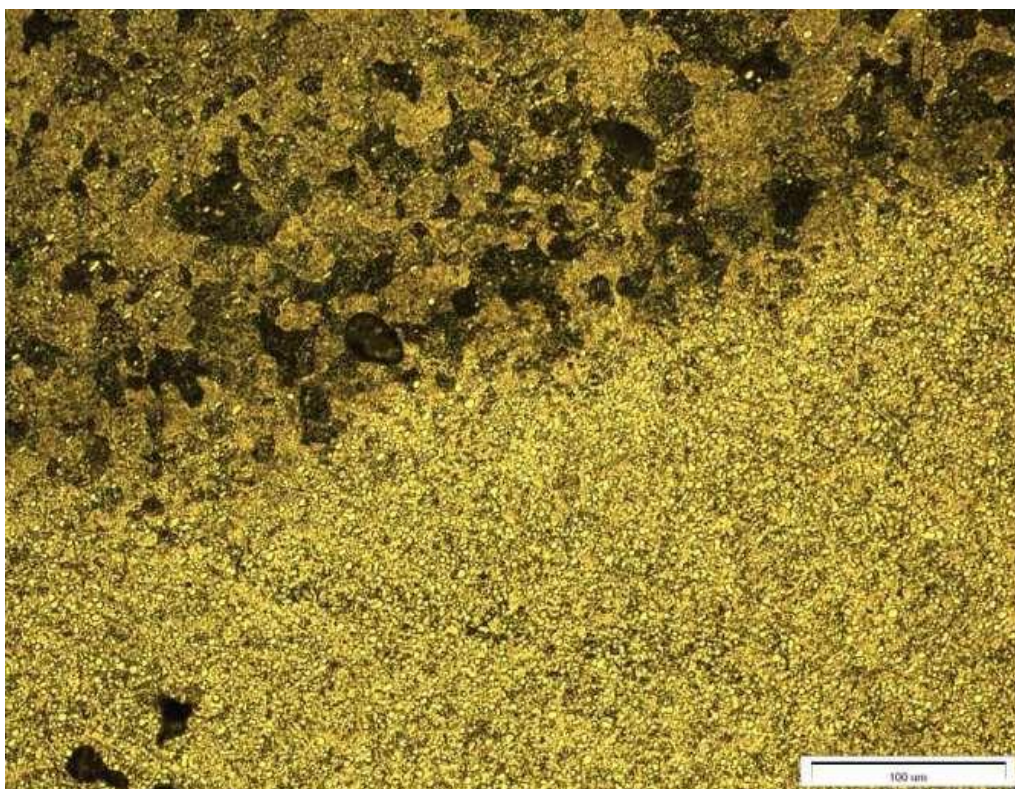
Tab. 4.1 – Složení nerezových ocelí RWL 34 a PCM 27 od firmy Damasteel AB [30]

Druh oceli	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
RWL 34	1,05	0,5	0,5	14,0	4,0	0,2
PCM 27	0,6	0,5	0,5	13,5	-	-

Při porovnání mikrostruktury svářkového damašku a oceli Damasteel vyrobené práškovou metalurgií je na první pohled vidět rozdíl na rozhraní dvou materiálů. U svářkového damašku, kdy jsou použity materiály o různém obsahu uhlíku je na spoji vidět difuze uhlíku a částečné promísení materiálu (obr. 4.6). U oceli Damasteel vyrobené z ocelí RWL 34 a PCM 27 není rozdíl od svářkového damašku jasné oddělení materiálu. Na obr. 4.7 je tmavší část ocel PCM 27 a světlejší RWL 34 [31].



Obr. 4.6 – Struktura svářkové damascenské oceli ($250 \times$ zvětšeno) [31]



Obr. 4.7 – Struktura damascenské oceli Damasteel ($250 \times$ zvětšeno) [31]

5 ZÁVĚR

S nástupem doby železné a postupným zdokonalováním hutnických technologií se stala ocel strategickým materiálem. Nejdříve probíhala výroba ve velmi primitivních podmínkách, ale i přesto se podařilo tehdejším hutníkům vyrobit kvalitní materiál, který nahradil do té doby velmi používaný bronz.

V této práci je dán do kontextu vývoj meče jakožto dominantního představitele chladných zbraní s hutnickými procesy. Ukazuje se, že přes poměrně dlouhou dobu užívání chladných zbraní se hutnické pochody výrazně nezměnily. Výroba železa probíhala přímou metodou v redukčních pecích a následně byl tento materiál kovářsky zkujňován na ocel. Postupem času se tak měnil pouze tvar a velikost pece a při kovářské práci se začalo využívat místo těžké ruční práce mechanicky poháněných strojů – vodních hamrů. Moderní hutnické technologie se začaly objevovat až v pozdější době, kdy už převažovaly palné zbraně.

O kvalitě materiálu použitého na výrobu zbraní svědčí i množství dochovaných exemplářů a také to, že na kvalitě zbraně mnohdy závisel život jejího majitele.

Výroba oceli ve středověku v porovnání s dneškem by jistě zaostávala co do množství vyrobeného materiálu a jeho druhů, přesto by v mnoha ohledech obstála ohledně kvality. Dokazují to zbraně vyrobené z materiálů vyrobených dle starých hutnických a výrobních postupů v porovnání se zbraněmi z ocelí vyrobených současnými technologiemi.

Přestože nebyly chladné zbraně jediným výrobním artiklem, na který se používala ocel, zcela určitě byl tento „zbrojní průmysl“ hnacím motorem k rozvoji a většímu rozšíření hutnictví v tehdejší Evropě.

V bakalářské práci jsou uvedeny jak původní, tak i moderní postupy výroby damascenské oceli, která ve své době patřila k tomu nejlepšímu, co mohli tehdejší zbrojníci nabídnout. Je zde pojednáno i o vývoji tohoto dnes znovuobjeveného materiálu, který se uplatňuje nejen při výrobě luxusních nožů a replik chladných zbraní, ale v hojně míře i k výrobě dekorativních předmětů.

O oblíbenosti damascenské oceli svědčí i množství nožířů, kteří se na výrobu tohoto materiálu specializují a to nejen v ČR, ale i v ostatních státech světa.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Bárta, Patrick. *TEMPL repliky historických zbraní*. [Online] 2011. [Citace: 9. únor 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.templ.net>.
2. Barák, Martin. *Stará huť*. [Online] [Citace: 28. Prosinec 2010.] Dostupné z WWW: <http://www.starahut.com/>.
3. Dohnal, Petr. *Nožírství*. [Online] 2011. [Citace: 15. Únor 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.dohnalknives.com/>.
4. Šenberger, Jaroslav. *Metalurgie oceli na odlitky*. Brno : CERM, s.r.o., 2003. str. 149. ISBN 80-214-2509-1.
5. Jirásek, Jakub a Vavro, Martin. *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava : Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3.
6. Historie Ocelářství. *Hutnictví železa, a.s.* [Online] [Citace: 12. Únor 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.hz.cz/cz/historie-ocelarstvi>.
7. *Wikipedia*. [Online] 2011. [Citace: 11. Únor 2011.] Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org>.
8. Gruber, Josef. *Dějiny techniky*. [Online] 2009. [Citace: 20. Leden 2011.] Dostupné z WWW: http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/dte/index.html.
9. Hovorka, František. *Technologie chemických látek*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005. str. 180. ISBN 80-7080-588-9.
10. Metalurgický koks. *OKK Koksovny, a.s.* [Online] 2009. [Citace: 22. Leden 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.koksovny.cz/cz/vyrabime-koks/metalurgicky-koks/>.
11. Vliv legovacích prvků na vlastnosti ocelí. *Stránky o nožích*. [Online] [Citace: 14. Únor 2011.] Dostupné z WWW: <http://svanda.webz.cz/vyuka/legury.htm>.
12. Šimek, Jiří. Vývoj chladných zbraní. *Heraldicus*. [Online] 2011. [Citace: 24. Leden 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.heraldicus.com/jiri-simek-vyvoj-chladnych-zbrani/>.
13. Šach, Jan. *Chladné zbraně*. Praha : AVENTINUM s.r.o., 2008. str. 256. ISBN 978-80-86858-68-5.
14. Wikipedie. Meč - Wikipedie. *Wikipedie*. [Online] 2011. [Citace: 25. Únor 2011.] Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Me%C4%8D>.
15. Podsbírka archeologie. *Ostravské muzeum*. [Online] 2011. [Citace: 15. Leden 2011.] Dostupné z WWW: http://www.ostrmuz.cz/website/mainmenu/odborna-pracoviste/spolecenske-vedy/archeologie/podsbirka_archeologie/.
16. Zackl, Zdeněk. *ZplusZ - Výroba zbraní a zbrojí*. [Online] [Citace: 12. Leden 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.zplusz.cz/>.
17. Pleiner, Radomír. *Iron in archaeology: The European Bloomery Smelters*. Praha : Archeologický ústav AV ČR, 2000. str. 400. ISBN 80-86124-26-6.

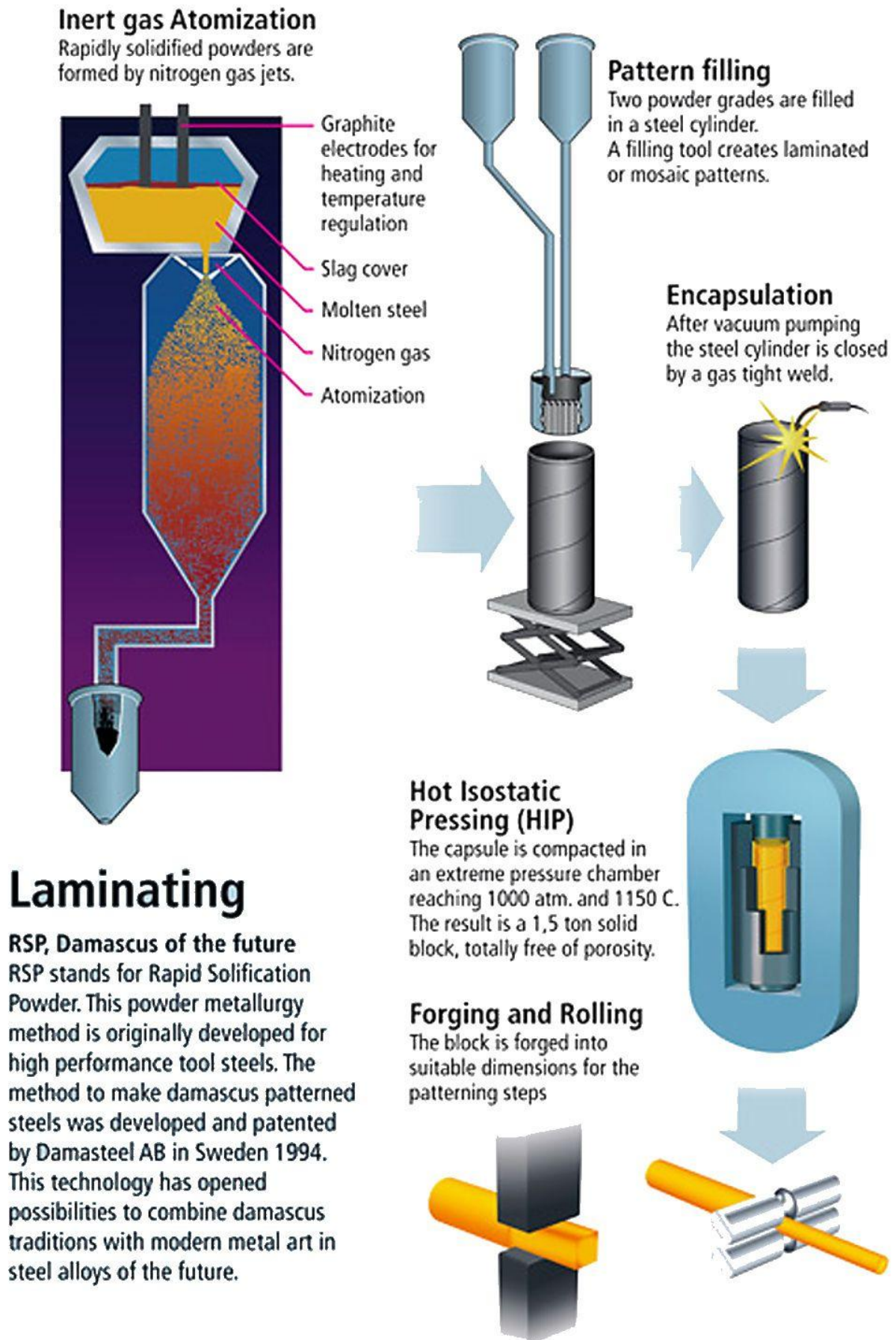
18. Otop. *CSOP-Společnost Rozmberk*. [Online] 2008. [Citace: 14. Leden 2011.] Dostupné z WWW: <http://ruze.ekomuzeum.cz/tezba/?act=6>.
19. Hnízdil, Pavel. Vodní hamr v Dobřívě aneb trocha historie. *Český kutil*. [Online] 2008. [Citace: 30. Leden 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.ceskykutil.cz/tvorime/stara-remesla-a-tradice/vodni-hamr-v-dobrivu-aneb-trocha-historie>.
20. Pleiner, Radomír. *Staré evropské kovářství : stav metalografického výzkumu*. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 1962. str. 331.
21. Meč v 11. až 13. století. *Curia Vitkov*. [Online] 2010. [Citace: 18. Únor 2011.] Dostupné z WWW: <http://curiavitkov.cz/valka32.html>.
22. Dohnal, Petr a Koudelka, Josef. Obecné pojednání o wootzu. *Nožířství*. [Online] 2011. [Citace: 15. Únor 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.dohnalknives.com/strana01cz.htm>.
23. Horák, Marek. Damašková ocel. *Knife.cz - vše o nožích*. [Online] 2004. [Citace: 5. Leden 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.knife.cz/Knifecz/Technika/tabid/57/ctl/Details/mid/384/ItemID/50/Default.aspx>.
24. DAMASCÉNSKÁ OCEL. *POHANSTVÍ*. [Online] 2005. [Citace: 5. Březen 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.pohanstvi.net/inde.php?menu=kovarnadamask>.
25. Čechlovský, Stanislav a Černý, Michal. Povídání o damaškové a vrstvené oceli - část I. *Nože Nůž*. [Online] 2010. [Citace: 18. Leden 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.noze-nuz.com/recenze/damasek1/damasek1.php>.
26. *Damasteel AB*. [Online] [Citace: 12. Leden 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.damasteel.com/>.
27. Dabakyan, Arkady. O Bulatu...začátek. [Online] 2010. [Citace: 28. Prosinec 2010.] Dostupné z WWW: http://www.kovar-a.cz/o_bulatuzaatek.html.
28. Lounyov, Serguey. Wootz Steel. [Online] 2000. [Citace: 5. Leden 2011.] Dostupné z WWW: http://damascus.free.fr/f_damas/f_quest/f_wsteel/lounyov.htm.
29. Obach, Greg. Replication of Wootz "Damascus" Type Steel. [Online] 2003. [Citace: 2. Březen 2011.] Dostupné z WWW: http://dark.unitz.ca/~gthomas/myweb4/replication_of_wootz.htm.
30. Štraub, František. *www.damascen.cz*. [Online] 2009. [Citace: 17. Leden 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.damascen.cz/>.
31. Mikrostruktura nástrojových ocelí. *Stránky o nožích*. [Online] [Citace: 14. Únor 2011.] Dostupné z WWW: <http://svanda.webz.cz/metalka/metalografie.html>.
32. Přibil, Erich. Přehled vlastností oceli 54SiCr6. [Online] 2004. [Citace: 29. Prosinec 2010.] Dostupné z WWW: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/pruzinoveoceli/54SiCr6/>.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Princip výroby damascenské oceli práškovou metalurgií [26]
- Příloha 2 Ukázky kresby damascenských svárkových čepelí [1]
- Příloha 3 Ukázky nožů z damascenské oceli [3]
- Příloha 4 Ukázky nožů z damascenské oceli vyrobené práškovou metalurgií [26]
- Příloha 5 Vlastností oceli 54SiCr6 užívané na výrobu replik historických zbraní [32]

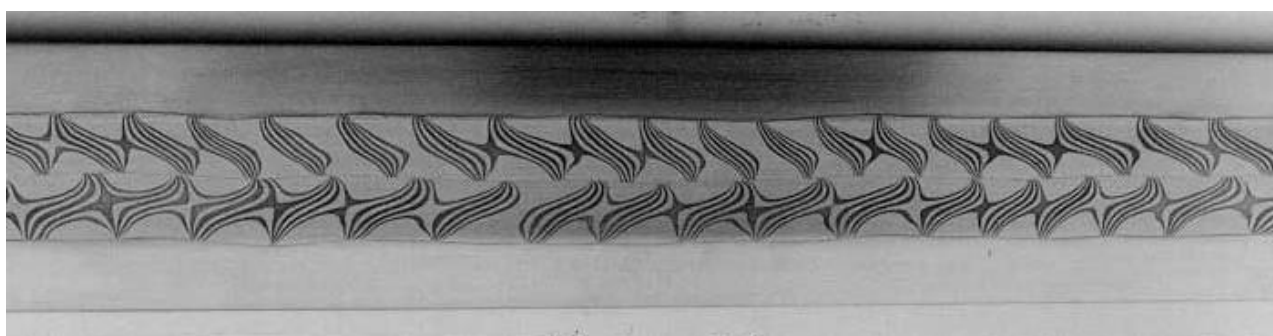
Příloha 1

Princip výroby damascenské oceli práškovou metalurgií [26]



Příloha 2

Ukázky kresby damascenských svářkových čepelí [1]



Příloha 3

Ukázky nožů z damascenské oceli [3]



Příloha 4

Ukázky nožů z damascenské oceli vyrobené práškovou metalurgií [26]



Vlastností oceli 54SiCr6 užívané na výrobu replik historických zbraní [32]

mechanické hodnoty prokazované na referenčním vzorku o průměru 10 mm kaleného z teploty 850° C do oleje a popuštěném při teplotě 480° C s ochlazením na vzduchu. Uvedené hodnoty jsou informativní.

pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

záruku prokalitelnosti na základě hodnot stanovených čelní zkouškou prokalitelnosti lze po dohodě nahradit hodnotami tvrdosti v jádře mezního rozměru.

mezní rozměr je třeba dohodnout.

tvrdost 56 HRC platí pro tavby, jejichž křivka prokalitelnosti leží v horních 2/3 pásu prokalitelnosti. Struktura po kalení pak obsahuje převážně martenzit (předpoklad pro značně namáhané pružiny)